



Universidad de Concepción  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas



Respuestas conductuales de los misidáceos pertenecientes al género *Neomysis*, frente a luz ambiente de distintas longitudes de onda del espectro lumínico en condiciones de laboratorio.

Seminario de Título presentado a la  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
Para optar al título de Bióloga

**Catalina Antonia Andaur Espinosa**

Concepción, marzo de 2025



Este Seminario de Título ha sido desarrollado en el Departamento de Zoología,  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción.



Prof. Guía

Dr. Mauricio Urbina Fonerón

Prof. Co-Guía

Dr. Francisco Pérez Venegas

Prof. Evaluadores

Dra. (c) Erika Jorquera Paegelow

Dra. Pamela Hidalgo Díaz

Prof. Coordinador Seminario de Título

Dr. Víctor Hernández Santander

## ***AGRADECIMIENTOS***

Al concluir este periodo quiero extender un profundo agradecimiento a quien hizo posible mi formación como profesional, a quien jamás dejó de creer en mí, quien me ha acompañado en cada parte del proceso y ha estado en mis fracasos y aciertos igual de firme...Janet, la mayor parte de este logro es por ti. A Francisco, quien está dando este paso junto a mi ahora, mi compañero y el que me inspira a ser mejor.

Agradecer a mi profesor Guía, Mauricio Urbina, por darme un espacio en su equipo y la oportunidad de aventurarme en un nuevo campo, por permitirme cometer errores y por brindarme las herramientas necesarias para desempeñarme, a la 'Profe Erika', por su infinita paciencia y comprensión, gracias por compartir parte de su conocimiento conmigo, y por supuesto, a mi profesor Co-guía Francisco Pérez, por ayudarme a ampliar mi visión en la ciencia y aceptar colaborar en este proyecto.

*Dedicada a Janet, Dinelly y Francisco, quienes son  
el motivo, la razón y el propósito en mi vida, su  
amor me salvó, por ello cada logro es en honor a  
ustedes, los amo.*

## ÍNDICE

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| AGRADECIMIENTOS.....                                                                                             | 3         |
| ÍNDICE.....                                                                                                      | 4         |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                                                                          | 6         |
| RESUMEN .....                                                                                                    | 9         |
| ABSTRACT .....                                                                                                   | 11        |
| INTRODUCCION.....                                                                                                | 12        |
| <i>Migraciones verticales realizadas por el zooplancton.....</i>                                                 | <i>12</i> |
| <i>Ritmos circadianos y su relación con la luz en las migraciones verticales del zooplancton</i><br><i>.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Presencia del factor luz en los patrones migratorios de zooplancton .....</i>                                 | <i>15</i> |
| <i>Neomysis sp como modelo de estudio.....</i>                                                                   | <i>18</i> |
| HIPÓTESIS .....                                                                                                  | 20        |
| OBJETIVOS .....                                                                                                  | 20        |
| <i>Objetivo general: .....</i>                                                                                   | <i>20</i> |
| <i>Objetivos específicos .....</i>                                                                               | <i>20</i> |
| METODOLOGÍA.....                                                                                                 | 21        |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Área de estudio</i> .....                                                                                               | 21 |
| <i>Recolección de los individuos de Neomysis sp</i> .....                                                                  | 21 |
| <i>Set up experimental</i> .....                                                                                           | 22 |
| <i>Control de intensidades lumínicas a las cuales se verán expuestos los individuos</i> .....                              | 23 |
| <i>Diseño experimental</i> .....                                                                                           | 29 |
| <i>Análisis de datos y estadísticos del comportamiento de los individuos bajo los diferentes espectros lumínicos</i> ..... | 30 |
| RESULTADOS .....                                                                                                           | 32 |
| <i>Velocidad de natación.</i> .....                                                                                        | 32 |
| <i>Actividad de natación</i> .....                                                                                         | 33 |
| <i>Preferencia al color</i> .....                                                                                          | 34 |
| DISCUSIÓN .....                                                                                                            | 36 |
| CONCLUSIÓN .....                                                                                                           | 38 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                                         | 40 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1. Penetración del espectro lumínico visible en la columna de agua en horas del día frente a la bahía de Coliumo, Chile.** El gráfico presenta la penetración de los espectros lumínicos en el mar, donde se puede observar que los espectros lumínicos azul y verde, los cuales presentan longitudes de onda entre 488 y 530 nm respectivamente, alcanzan mayores profundidades. (Datos extraídos de proyecto ANILLO, ACT 210073, Urbina. M 2023).

..... 15

**Figura 2: Sensibilidad espectral relativa de tres especies de misidáceos:** (A) *Hemimysis anomala* (N=4), (B) *Neomysis integer* (N=4) y (C) *Mysis mixta* (N=6). (Extraído de Lindstrom 2000)

..... 17

**Figura 3: Esquema del set up experimental:** Se realizó un esquema para indicar la distribución de los elementos experimentales, como la luz (banda de luz led), probetas donde estarán los individuos y sus respectivas distancias para no generar un ángulo de incidencia entre la luz y las probetas y así esta llegue de manera directa.

..... 22

**Figura 4: Fotografía del set up experimental montado:** El set up experimental se montó siguiendo las medidas del esquema, para posteriormente someter a los misidáceos (*Neomysis* sp) a cambios de iluminación ambiente.

..... 23

**Figura 5: Elementos para realizar la calibración:** Fotografía de los elementos con los cuales se calibró de espectrómetro, el cual era este mismo, la fibra óptica de 7 núcleo y una lámpara de luz halógena.

.....24

**Figura 6: Implementos para el cálculo de intensidades de la banda led:** Banda led fija a 1 mm de distancia de la fibra óptica la cual estaba conectada a un espectrómetro HR 4000 mientras este realizaba las mediciones.

.....25

**Figura 7: Intensidad espectral de los espectros lumínicos rojo, verde, azul y blanco de la banda de luz led:** Los gráficos indican los picos de intensidad de los colores rojo, verde, azul y blanco de la banda de luces led, donde se puede apreciar que el pico espectral más alto es el del color azul (C), seguido del color blanco (D), verde (B) y el color rojo (A). Cada curva individual corresponde a una intensidad de la banda led que controla la emisión de cada color, la banda de luces presenta 11 niveles de intensidades crecientes por color.

.....26

**Figura 8: Intensidad espectral del blanco creado:** Al disminuir la intensidad del color blanco de la banda led y añadirle el color amarillo, se logró reducir el pico espectral en la región cercana a los 470 nm (espectro de color azul), lo que parcializó la intensidad con los espectros verde y rojo que también componen el color blanco.

.....27

**Figura 9: Curvas de intensidad lumínica, intensidades máximas y potencial total de LED por color.** Los gráficos representan distintas características de emisión de luz de la banda led. A) Comparativa entre las intensidades de la banda led y su poder de emisión espectral, B) Potencia total por color, donde cada punto representa una intensidad de la banda led a la cual se le integra el área debajo de la curva, debido a que cada curva presenta un diferente ancho y alto. C) Intensidad máxima de la luz led, donde se grafica el punto máximo de intensidad de las curvas de cada espectro lumínico en cada ajuste de la luz led.

.....28

**Figura 10: Imágenes de los individuos bajo los distintos espectros lumínicos:** En las imágenes se puede observar a los individuos de *Neomysis sp* en el set up experimental bajo los 4 espectros lumínicos analizados.

.....30

**Figura 11: Velocidades promedio de nado:** Velocidad de nado en los distintos colores de iluminación, en los tiempos 0 a 3 minutos y 17 a 20 minutos.

.....33

**Figura 12: Gráficos del porcentaje de individuos activos:** Individuos que nadaron en los diferentes colores, en los 3 tiempos analizados.

.....34

**Figura 13: Gráfico de la preferencia al color:** Individuos que se ubicaron cercanos a la superficie de la probeta en los diferentes colores.

.....35

## ***RESUMEN***

Los patrones migratorios que realiza el zooplancton constituyen un proceso clave en la ecología marina, siendo esencial para la supervivencia y alimentación de las diversas especies que los realizan, dicho proceso es ampliamente estudiado, no tan solo por la llamativa capacidad de estos organismos de desplazarse largas distancias de forma vertical u horizontal por las corrientes marinas, sino también, para dilucidar cual es el factor que les da el estímulo para iniciar dichos desplazamientos. Aunque estudios previos postulan como principal factor influyente a la percepción que tienen estos individuos de la luz que penetra en las profundidades, aun no se puede aseverar con certeza si este es el factor delimitante.

Los misidáceos son crustáceos pertenecientes al zooplancton capaces de colonizar diversos entornos acuáticos, incluyendo hábitats marinos, continentales y estuarinos. La mayoría de misidáceos costeros realizan un patrón migratorio característico, las llamadas migraciones verticales y horizontales, ascendiendo y dispersándose por la columna de agua durante la noche y descendiendo a mayor profundidad durante el día. Dado que la luz es un factor clave para que se lleve a cabo este comportamiento, estos crustáceos han desarrollado una notable capacidad de adaptación visual, presentando sensibilidad a ciertos espectros lumínicos, particularmente en la región azul y verde del espectro visible. Para analizar su respuesta a distintos estímulos lumínicos, se estudiaron ejemplares del género *Neomysis*, los cuales son abundantes en las costas de la región del Biobío, evaluando el efecto de diferentes espectros lumínicos (rojo, verde, azul y blanco) sobre el comportamiento migratorio de *Neomysis* sp en condiciones de laboratorio.

Los individuos fueron recolectados en la Bahía de San Vicente, Chile, y sometidos a experimentos de exposición a diferentes colores de una banda de luz led que reemplazó los espectros lumínicos de la luz solar, en los que se registró su actividad, velocidad de nado y preferencia por ellos mediante análisis de video, aplicando un Análisis de Varianza (ANOVA)

no paramétrico para evaluar las diferencias en el comportamiento. Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas en la respuesta de los misidáceos a los distintos espectros lumínicos en los tiempos de exposición evaluados (3, 12 y 20 minutos). La alta variabilidad individual y limitaciones experimentales, como la falta de un gradiente lumínico adecuado y el reducido espacio disponible dentro de las probetas, podrían haber influido en los resultados.

A pesar de que la luz se considera un factor altamente influyente en la migración vertical de diversas especies, este estudio no logró establecer una relación clara entre los espectros lumínicos y cambios en el comportamiento de *Neomysis* sp. Se recomienda realizar investigaciones futuras bajo condiciones más cercanas a las de su hábitat natural para comprender mejor la influencia de la iluminación en su ecología.

*Palabras claves: Patrones migratorios, luz, comportamiento, sensibilidad espectral.*

## ***ABSTRACT***

The migratory patterns of zooplankton constitute a key process in marine ecology, being essential for the survival and feeding of the diverse species that carry them out. This process is widely studied, not only because of these organisms' remarkable ability to travel long distances on ocean currents, but also to elucidate the factors that stimulate them to initiate these movements. Although previous studies postulate the perception of light penetrating the depths as the main influencing factor, it is not yet possible to definitively assert whether this is the determining factor.

Mysids are crustaceans belonging to the zooplankton capable of colonizing diverse aquatic environments, including marine, continental, and estuarine habitats. Most coastal mysids perform a characteristic migratory pattern, known as vertical and horizontal migrations, ascending and dispersing through the water column at night and descending to greater depths during the day. Since light is a key factor in this behavior, these crustaceans have developed a remarkable capacity for visual adaptation, showing sensitivity to certain light spectra, particularly in the blue and green regions of the visible spectrum. To analyze their response to different light stimuli, specimens of the genus *Neomysis*, which are abundant along the coasts of the Biobío region, were studied. The effect of different light spectral (red, green, blue, and white) on the migratory behavior of *Neomysis* sp. under laboratory conditions was evaluated.

Individuals were collected in San Vicente Bay, Chile, and subjected to exposure experiments with different colors of a LED light band that replaced the light spectra of sunlight. Their activity, swimming speed, and preference for these colors were recorded using video analysis, and a nonparametric Analysis of Variance (ANOVA) was applied to evaluate behavioral differences. The results indicated no significant differences in the mysids' response to the different light spectra across the exposure times evaluated (3, 12, and 20 minutes). High individual variability and experimental limitations, such as the lack of an adequate light gradient and the limited space available within the test tubes, could have influenced the results.

Although light is considered a highly influential factor in the vertical migration of various species, this study failed to establish a clear trade-off between light spectra and changes in

the behavior of *Neomysis* sp. Future research under conditions closer to those of their natural habitat is recommended to better understand the influence of light on their ecology.

*Keywords: Migratory patterns, light, behavior, spectral sensitivity.*

## ***Introducción***

La distribución del zooplancton en la columna de agua ha sido objeto de múltiples investigaciones científicas, las cuales buscan dilucidar los factores que la determinan y que gatillan los patrones migratorios de estos individuos. Diversos estudios han documentado que, tanto en ecosistemas marinos como de agua dulce, ciertas especies de zooplancton presentan un comportamiento migratorio (Murtaugh 1985; Vinogradov et al. 1985), desplazándose vertical y horizontalmente en la columna de agua, recorriendo desde decenas hasta cientos de metros en cuestión de horas. Considerando el tamaño de los organismos, el cual oscila entre una escala de milímetros a escasos centímetros (Hays 2003; Bozzano et al. 2014; Van Haren & Compton 2013) es una migración notable.

### *1.1 Migraciones verticales realizadas por el zooplancton.*

La migración vertical diaria (DVM por sus siglas en inglés), constituye un comportamiento común del zooplancton, el cual implica que su distribución en la columna de agua varíe a lo largo de las 24 horas del día (Berge & Cottier 2009), dicho comportamiento presenta patrones generalizados, siendo el “patrón nocturno” el que se realiza con más frecuencia, el cual implica un ascenso único hacia aguas someras durante el intervalo comprendido entre el atardecer y el amanecer, seguido de un descenso hacia profundidades mayores durante las primeras horas del día. Usualmente, el ascenso ocurre en el atardecer, mientras que el descenso ocurre en el amanecer (Cohen 2009; Forward 1998), aunque algunas especies de zooplancton exhiben un patrón inverso de migración vertical diaria, lo que implica un ascenso a una profundidad mínima durante el día y un descenso a mayores profundidades por la noche (Cohen 2009).

‘El zooplancton realiza la mayor migración del reino animal en términos de biomasa’ (Hays 2003), el cual a pesar de carecer de la capacidad de nado sostenido contra las corrientes (Hofmann & Murphy 2004) logra recorrer largas distancias mediante las corrientes omnipresentes del medio marino (Hofmann & Murphy 2004). La variabilidad en las migraciones verticales diarias dentro de una misma especie es notable, y puede estar influenciada por factores espaciotemporales y depender de las etapas del desarrollo ontogénico del organismo (Bollens & Frost 1989; Hays et al. 1997; Fragopoulou & Lykakis 1990; Ohman 1990; Dagg et al. 1997), donde los individuos que presentan un desarrollo más avanzado que los juveniles se localizan a mayores profundidades durante el día y se concentran en aguas más superficiales durante la noche (Pillar et al. 1989).

En el ambiente pelágico, la migración vertical es una de las estrategias clave para la supervivencia del zooplancton, la cual les permite reducir la mortalidad por depredación (Cohen & Forward 2016; Stich & Lampert 1981) mediante el desplazamiento hacia el estrato más profundo y oscuro durante horas del día, evitando a los depredadores visuales, y durante la noche, el retorno a aguas superficiales les proporciona acceso a una mayor disponibilidad de alimento, optimizando su ingesta y reduciendo el riesgo de ser depredados (Lalli & Parsons 1997).

Entre los grupos más representativos de crustáceos migratorios se encuentran los misidáceos, siendo una porción significativa de la biomasa del zooplancton en estuarios y zonas costeras (Jerling & Wooldridge 1995), donde desempeñan un papel fundamental en las redes tróficas, actuando como fuente de alimento para las diversas especies de peces (Brown & McLachlan 1990; Chigbu & Sibley 1994). Su distribución abarca desde zonas someras hasta profundidades que superan los 7.000 metros (Mauchline 1980), donde se ha registrado su participación en migraciones verticales tanto en aguas profundas donde existe una capa afótica (Kaartvedt 1985) como en zonas someras (Allen 1982).

### *1.2 Ritmos circadianos y su relación con la luz en las migraciones verticales del zooplancton.*

El reloj circadiano es un oscilador molecular que regula los ritmos diarios en los organismos, basándose en la expresión rítmica de los denominados genes reloj, el cual funciona

libremente con un periodo de aproximadamente 24 horas. Tiene como particularidad la sincronización con el ciclo luz-oscuridad mediante la interacción con las señales ambientales, particularmente con la luz solar (Dunlap 1999). Como resultado, se generan ritmos en procesos metabólicos, fisiológicos y comportamentales a escalas diarias y estacionales (Allada & Chung 2010).

En el siglo XVII el astrónomo Jean de Mairan quien fue el pionero en realizar un estudio sistemático sobre el ciclo circadiano, mencionaba lo siguiente: ‘Las condiciones ambientales no son las encargadas de cumplir con los ciclos circadianos. Es más, incluso en ausencia de dichas condiciones, los animales aún muestran cierta ‘estabilidad’ en sus ritmos biológicos’. No obstante, los factores externos pueden alterar o modificar los ciclos circadianos. Un reciente estudio sobre los ritmos biológicos del camarón fantasma *Neotrypaea uncinata*, relacionado con las mareas, reveló una estrecha relación de sincronía entre las señales ambientales y los ciclos endógenos en los organismos marinos, lo cual se manifiesta en respuestas metabólicas que pueden persistir por un periodo de tiempo incluso en ausencia de señales ambientales. Aunque las respuestas endógenas disminuyeron progresivamente con el pasar de las semanas debido a la aclimatación de los individuos a las condiciones de laboratorio, se pudo establecer que pueden evocar estas respuestas producidas por un estímulo ambiental y seguir expresándolas aun fuera de su hábitat natural, debido a la presencia de una ‘memoria metabólica’ (Leiva et al. 2016).

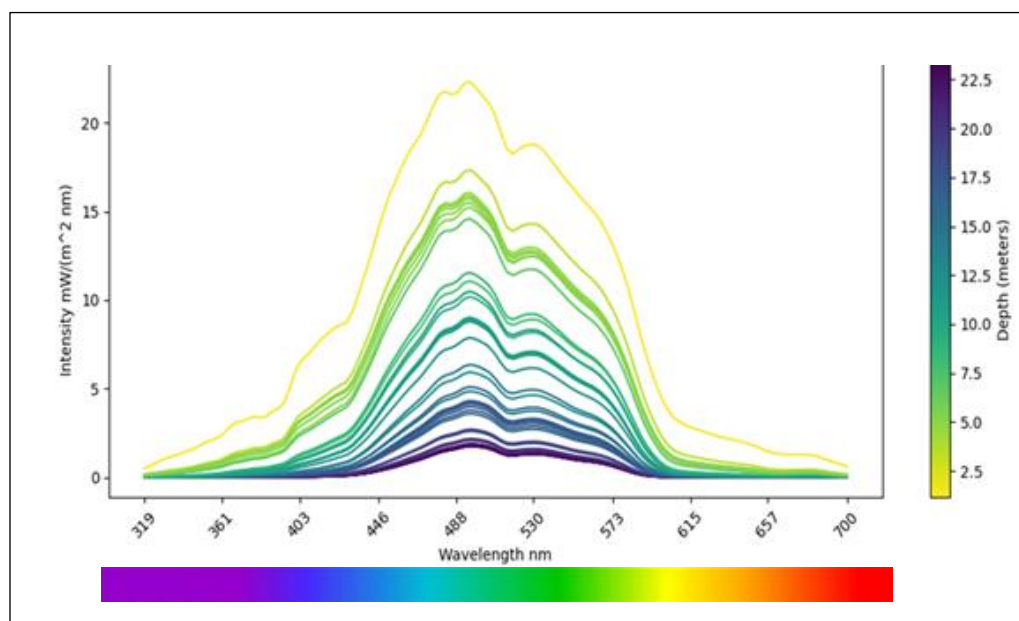
El ciclo de luz diurna, en particular, las señales espectrales características del crepúsculo son el principal sincronizador de los ritmos circadianos (Roenneberg & Merrow 1999; Walmsley et al. 2015; Piorz 2018), los cuales se caracterizan por su capacidad de ajustarse a las señales ambientales externas que regulan el funcionamiento del reloj biológico de los organismos. Estos ritmos pueden sincronizarse con el ciclo natural de luz y oscuridad utilizando variaciones constantes y predecibles en la duración del fotoperiodo, la intensidad lumínica y la composición espectral (Roenneberg & Foster 1997). Diferentes especies de zooplancton podrían responder a estas variaciones lumínicas ajustando sus patrones migratorios en consecuencia (Frank & Widder 1997).

Aunque se ha sugerido que el reloj circadiano del zooplancton desempeña un papel fundamental en la regulación de su migración vertical diaria (Gaten et al. 2008), este no es el

único factor influyente en la respuesta de los organismos, ya que las migraciones verticales diarias requieren de un estímulo o señal iniciadora que les permita la sincronización en enjambre de los ritmos circadianos. Estudios preliminares proponen que, además de los factores internos, la luz desempeña un papel clave como desencadenante del movimiento, siendo el factor ambiental con mayor impacto en los patrones migratorios del zooplancton (Sweatt & Forward Jr 1985; Haney et al. 1998). Asimismo, la luz no solo regularía la velocidad de desplazamiento (Haney et al. 1998), sino que también influiría en la profundidad alcanzada por los organismos durante el día (Aksnes et al. 2017).

### *1.3 Presencia del factor luz en los patrones migratorios de zooplancton.*

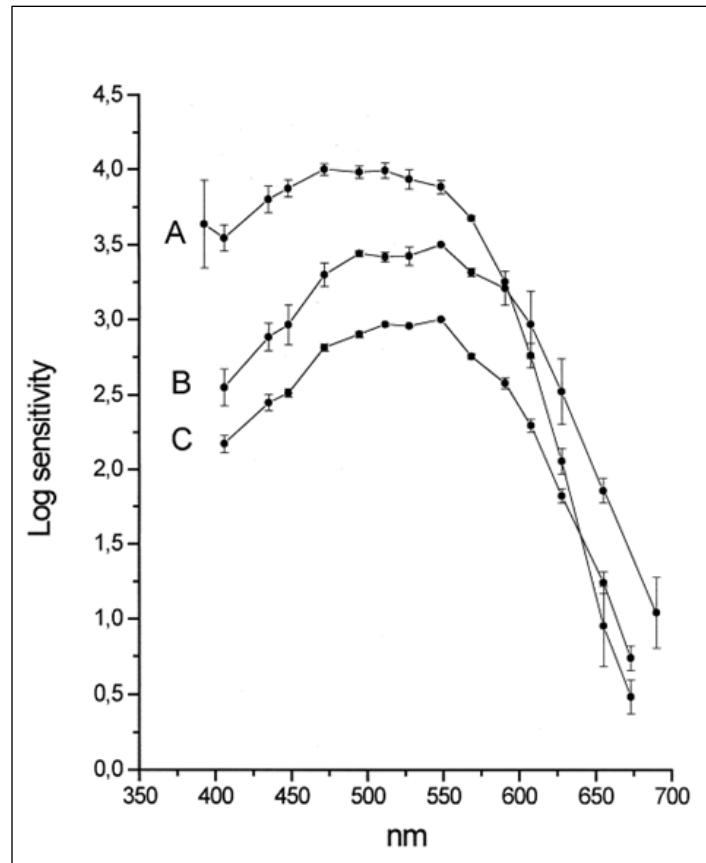
La composición espectral de la luz solar que penetra en la columna de agua varía según la profundidad y las condiciones del ambiente acuático (Lythgoe 1972). En aguas oceánicas claras, la luz que incide presenta un máximo en su intensidad espectral correspondiente a longitudes de onda cercanas a los 474 nm (Jerlov 1976), como se puede observar en la *figura 1*. Durante el crepúsculo, el cambio en la composición espectral es mínimo, predominando las longitudes de onda más cortas, correspondientes a los espectros azul y verde (488 y 530 nm respectivamente), proporcionando una clave de referencia para la sincronización de los ritmos circadianos de zooplancton (Frank & Widder 1997).



**Figura 1. Penetración del espectro lumínico visible en la columna de agua en horas del día frente a la bahía de Coliumo, Chile.** El gráfico presenta la penetración de los espectros lumínicos en el mar, donde se puede observar que los espectros lumínicos azul y verde, los cuales presentan longitudes de onda entre 488 y 530 nm respectivamente, alcanzan mayores profundidades. (Datos extraídos de proyecto ANILLO, ACT 210073, Urbina. M 2023)

La sensibilidad espectral del ojo de los organismos del zooplancton para responder a las diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético a las que se ve expuesto, debería estar sintonizada para maximizar la captura de fotones en la región espectral azul/verde durante el crepúsculo, específicamente pigmentos visuales entre 450 y 475 nm (Tissot 2015), lo cual resultaría beneficioso para el organismo al brindarle la capacidad de percibir la luz descendente en ese instante del día, lo que indicaría el momento adecuado para iniciar la migración vertical diaria.

Debido a que la intensidad del espectro de luz disminuye a medida que aumenta la profundidad del agua (Tyler 1959), los misidáceos han tenido que ser capaces de desarrollar adaptaciones visuales que les permiten percibir y responder a cambios en la iluminación y a su vez maximizar la absorción de luz para percibir su entorno, ajustando la absorción de su pigmento visual a longitudes de onda que tienen una mayor transmisión en el agua (Lindstrom 2000). En estos organismos se considera la luz como un factor esencial que influye en su comportamiento debido a su amplio uso de la visión, donde sus ojos grandes, compuestos por numerosos omatidios, reflejan la relevancia de la luz y sus variaciones (Ramcharan & Sprules 1986). A pesar de la limitada cantidad de investigaciones sobre como los misidáceos perciben la luz, Lindstrom (2000) observó que los misidáceos del género *Neomysis* específicamente la especie *Neomysis integer*, muestran una sensibilidad espectral máxima ( $S(\lambda)_{max}$ ) entre 525 y 535 nm, lo que indica una adaptación óptima al espectro lumínico de color verde, también logro identificar la gran adaptación a las diferentes intensidades lumínicas que presenta el ojo de estos organismos, lo cual explica su presencia en diferentes tipos de ambientes acuáticos.



**Figura 2: Sensibilidad espectral relativa de tres especies de misidáceos:** (A) *Hemimysis anomala* (N=4), (B) *Neomysis integer* (N=4) y (C) *Mysis mixta* (N=6). (Extraído de Lindstrom 2000).

Investigaciones de laboratorio han evidenciado la importancia de la intensidad lumínica que penetra en las profundidades marinas en el ciclo día y noche, donde la velocidad de ascenso vertical en organismos pertenecientes al zooplancton como lo son los misidáceos, muestra una relación lineal con la disminución de la intensidad lumínica, mientras que la velocidad de descenso se vincula con el aumento de dicha intensidad (Ringelberg 1991; van Gool & Ringelberg 1997). En ese contexto, es importante examinar el impacto total de la luz en el agua bajo condiciones de laboratorio para esclarecer si los espectros lumínicos que perciben los misidáceos, los cuales según estudios previos se encuentran entre 525 y 535 nm, inducen estímulos asociados a los patrones migratorios de la especie.

#### *1.4 Neomysis sp como modelo de estudio.*

Los misidáceos son crustáceos malacostráceos que se dividen en el orden Mysida y Lophogastrida pertenecientes al superorden Peracarida, donde constituyen el tercer grupo más importante debido a su diversidad y abundancia por unidad de área (Winfield & Ortiz 2011). Presentan una notable capacidad para colonizar distintos ambientes acuáticos, tanto marinos como de agua dulce, y su tamaño varía entre 5 y 120 mm, dependiendo de su hábitat (Tattersall 1951; Mauchline & Murano 1977). Aproximadamente el 65% de las especies conocidas habita en zonas litorales, donde su distribución es muy variable y abarca diferentes profundidades (Tattersall 1951; Mauchline & Murano 1977). Además, pueden formar enjambres guiados por un líder como estrategia para incrementar su supervivencia (Ortiz & Lalana 2010). En cuanto a su alimentación, se basan principalmente en la filtración de partículas mientras nadan (Kaester 1970; Murano 1999). Aunque la mayoría de las especies son omnívoras, algunas han adoptado comportamientos carnívoros, carroñeros o depredadores, consumiendo poliquetos, copépodos, anfípodos e incluso de otros misidáceos (Price & Heard 2009).

La habilidad de estos organismos para habitar diversos ambientes acuáticos ha dado lugar a su clasificación en dos grandes grupos: Los pelágicos que se encuentran desde la zona epipelágica la cual abarca de 0 a 200 metros de profundidad, hasta la zona abisopelágica la cual corresponde desde los 4000 hasta 6000 metros de profundidad (Price & Heard 2009), y los bentónicos, los cuales están asociados a esponjas, fondos blandos, anémonas y cangrejos ermitaños (Meland & Willassen 2007).

En la región del BíoBío, Chile, se ha registrado una población abundante de misidáceos del género *Neomysis* perteneciente al orden Mysida en la playa Lenga, ubicada en la Bahía de San Vicente como también en la Bahía de Coliumo, donde su mayor abundancia se relaciona con condiciones estuarinas (Cornejo & Antezana, 1999; Segestråle 1945). Estos organismos, que pueden alcanzar los 40 mm en su etapa adulta, son omnívoros, aunque su principal alimento es el fitoplancton (Rudstam & Hansson et al. 1986; Uitto et al. 1995), tienen dos generaciones al año y constituyen una fuente importante en la dieta de los peces de la zona (Mauchline 1980).

El conocimiento sobre los misidáceos en la región del Biobío es limitado, a pesar de su importancia en las redes tróficas, no se encuentran mayores registros de su distribución en las costas de Chile, ni estudios sobre los mecanismos que regulan su comportamiento migratorio en la región (Guerrero et. al.1976; Ferrarello 1988; Hoffmeyer 1990). Este estudio busca evaluar la influencia de la luz en los patrones migratorios de *Neomysis* sp, en condiciones de laboratorio, considerando su sensibilidad espectral y la relación con su comportamiento vertical en la columna de agua. Con base en la hipótesis planteada, se espera que los espectros lumínicos azul y verde desempeñen un papel clave en la modulación de su distribución y movilidad, induciendo respuestas de acercamiento o alejamiento según la longitud de onda predominante. A través de la experimentación y análisis del comportamiento de los organismos frente a los distintos espectros de luz, se pretende identificar sus preferencias lumínicas, determinar su nivel de actividad y evaluar si estos factores están asociados a sus patrones migratorios. Los resultados de esta investigación contribuirán a una mejor comprensión de la ecología del zooplancton y su interacción con las señales lumínicas del ambiente, proporcionando información relevante para el estudio de los efectos de los cambios en la iluminación natural sobre las dinámicas de las poblaciones de *Neomysis* en ecosistemas costeros.

## ***HIPÓTESIS***

### *Hipótesis de trabajo:*

El espectro de luz que desciende durante el crepúsculo está dominado por las regiones espectrales azul y verde, se asume que algunas especies misidáceos del género *Neomysis* presentan una sensibilidad espectral máxima entre los 525-535 nm, lo que sugeriría que están adaptados a maximizar la captura de fotones en la región espectral verde. Por esto, estímulos lumínicos de espectros verde y azul tendrían incidencia directa en el comportamiento y la posición en la columna de agua de los misidáceos del género *Neomysis* que se encuentran en Caleta Lenga, induciendo respuestas de acercamiento o alejamiento hacia la superficie, modulando sus patrones de migración vertical y comportamiento lumínico-dependiente.

## ***OBJETIVOS***

*Objetivo general:* Evaluar el efecto de la luz en el comportamiento e indicadores de patrones migratorios en condiciones de laboratorio de *Neomysis* sp.

### *Objetivos específicos:*

1. Analizar el comportamiento de *Neomysis* sp bajo los diferentes espectros lumínicos de color rojo, verde, azul y blanco a los que se serán expuestos.
2. Identificar la preferencia de los individuos por algún espectro en particular mediante el análisis de su posición en la probeta y sus direcciones de nado.
3. Determinar el nivel de actividad que presentan los individuos frente a los distintos tipos de onda y analizar si se relacionan a los patrones migratorios realizados por la especie.

## ***METODOLOGÍA***

### *2.1 Área de estudio*

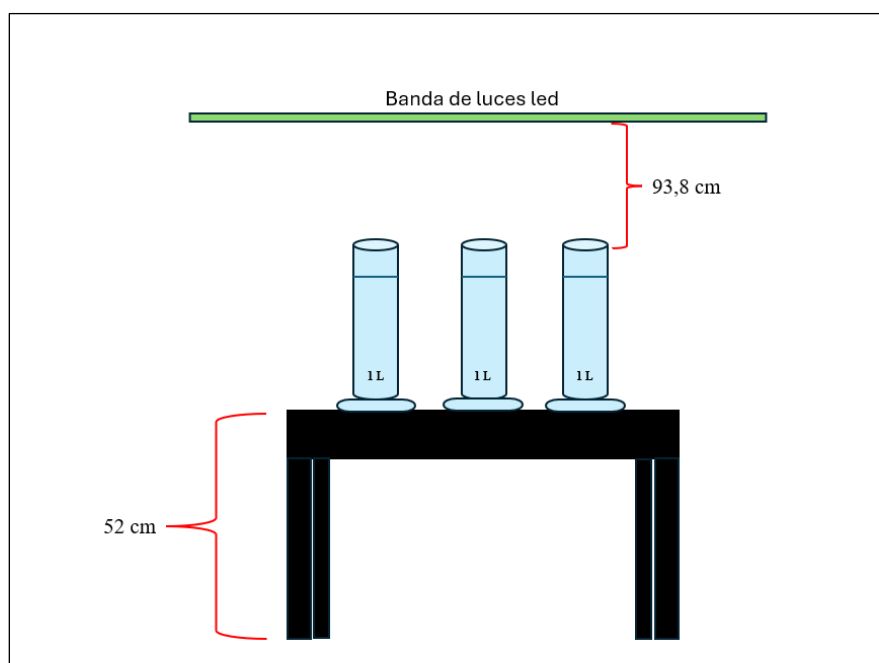
La recolección de los individuos fue realizada entre octubre y noviembre del año 2024 en Caleta Lenga. Esta es una playa arenosa de la Bahía de San Vicente, Talcahuano (36° 45' S; 73°10' W), Chile, la zona está caracterizada por una fuerte estacionalidad, con una temporada de surgencia bien definida durante la primavera y el verano austral, especialmente en la parte Sur.

### *2.2 Recolección de los individuos de Neomysis sp.*

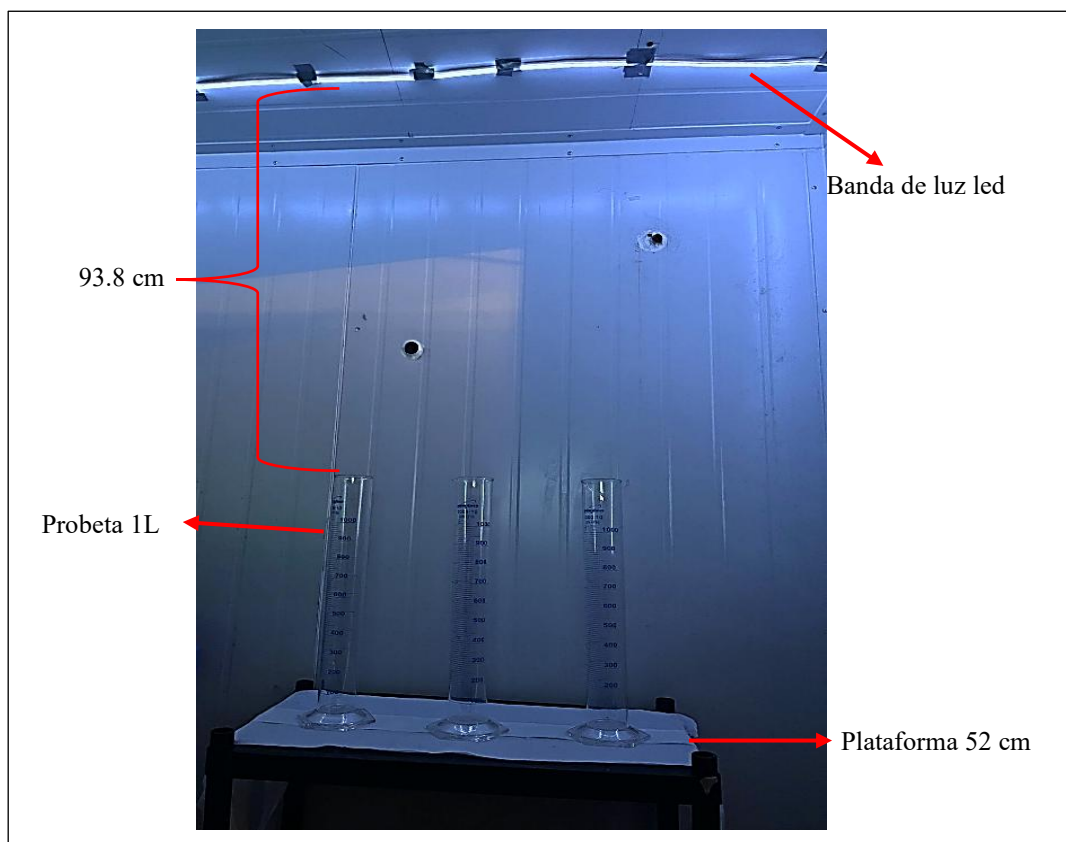
La captura de los misidáceos se ejecutó en los estratos superficiales y cercanos al fondo del área de estudio. Para la colección de individuos se realizó un buceo en apnea con una red de mano para zooplancton de 300 µm de malla, con un área de boca de 1,13 m<sup>2</sup>, la cual se arrastró cercana al fondo a unos 4 metros de profundidad, para después subir y depositar a los individuos recolectados en una red de piscina que se dejó flotando en la zona. Al salir del área de recolección se llevaron los individuos en la red de piscina hacia la estación biológica de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC) que se encuentra en Caleta Lenga, donde fueron depositados en un cooler de 60cm x 51cm x 52 cm (largo x ancho x alto) el cual contenía agua de mar de la misma zona en donde se realizó la extracción de individuos, la cual se estaba oxigenando mediante una manguera que estaba conectada a una bomba de aire a pilas. El agua fue colectada con una botella NISKIN con capacidad de 5 litros, la cual no fue filtrada, esto con el objetivo de que los individuos se siguieran alimentando de las partículas que se encontraban en el agua mientras eran trasladados desde la estación biológica hasta el laboratorio de Fisiología Animal Comparada de la Universidad de Concepción (UdeC).

### 2.3 Set up experimental

El set up experimental consistió en una plataforma de 52 cm de alto por 30 cm de ancho, donde se posicionaron 3 probetas de vidrio de 1 litro de la marca WINGLASS, las cuales tienen una medida de 46 centímetros de alto y 6,5 centímetros de diámetro. Se eligió el vidrio como material para visualizar correctamente la actividad de los individuos dentro de ellas. Las probetas sobre la plataforma se dispusieron en paralelo a la banda de luces led de la marca Maxwell con un voltaje de funcionamiento de 12 V, las cuales estaban pegadas al techo de la cámara fría, a una distancia de 93,8 cm de la parte superior de la probeta (*figura 4*). Se calculó la distancia a la parte media de las probetas para que la banda de luces led llegara de forma directa a la superficie de ellas. Posteriormente se llenaron las probetas con el agua de mar que se extrajo en Caleta Lengua hasta los 1000 ml, la cual se oxigenó por 2 horas mediante una bomba de aire eléctrica introduciendo mangueras hasta el fondo de las 3 probetas de vidrio.



**Figura 3: Esquema del set up experimental:** Se realizó un esquema para indicar la distribución de los elementos experimentales, como la luz (banda de luz led) y las probetas donde estarán los individuos considerando sus respectivas distancias para no generar un ángulo de incidencia entre la luz y las probetas y así esta llegue de manera directa.



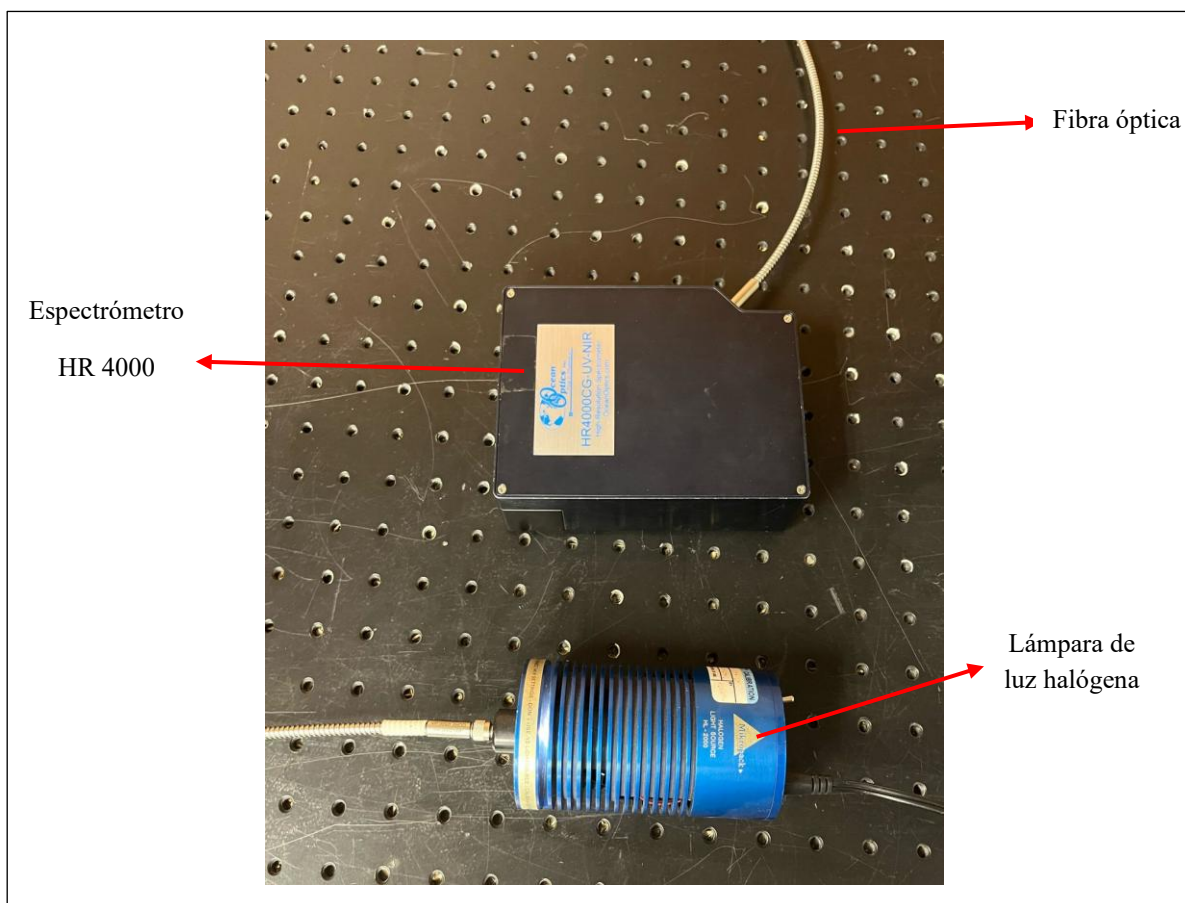
**Figura 4: Fotografía del set up experimental montado:** El set up experimental se montó siguiendo las medidas del esquema, para posteriormente someter a los misidáceos (*Neomysis* sp) a cambios de iluminación ambiente.

#### *2.4 Control de intensidades lumínicas a las cuales se verán expuestos los individuos.*

Para calcular las intensidades de la banda de luz led se utilizó un espectrómetro HR 4000 de la marca Ocean Optics, el cual es un sensor electrónico de elementos sensibles semiconductores, los cuales toman luz y generan una señal digital la cual es proporcional a la intensidad de luz que captan. En combinación, se utiliza una fibra óptica VIS-NIR (visible and near-infrared) de 7 núcleos la cual presenta un diámetro de 550  $\mu\text{m}$  por núcleo (*figura 5*), con la finalidad de obtener mediciones espectroscópicas precisas. Se conectó el espectrómetro mediante un cable USB a la computadora que tenía instalado el software SpectralSuite del fabricante Ocean Optics, posteriormente se conectó la fibra óptica de 7 núcleos al puerto de entrada del espectrómetro. Para poder iniciar la calibración, se fijó manualmente la fibra óptica de 7 núcleos en forma directa a una superficie oscura, la cual era

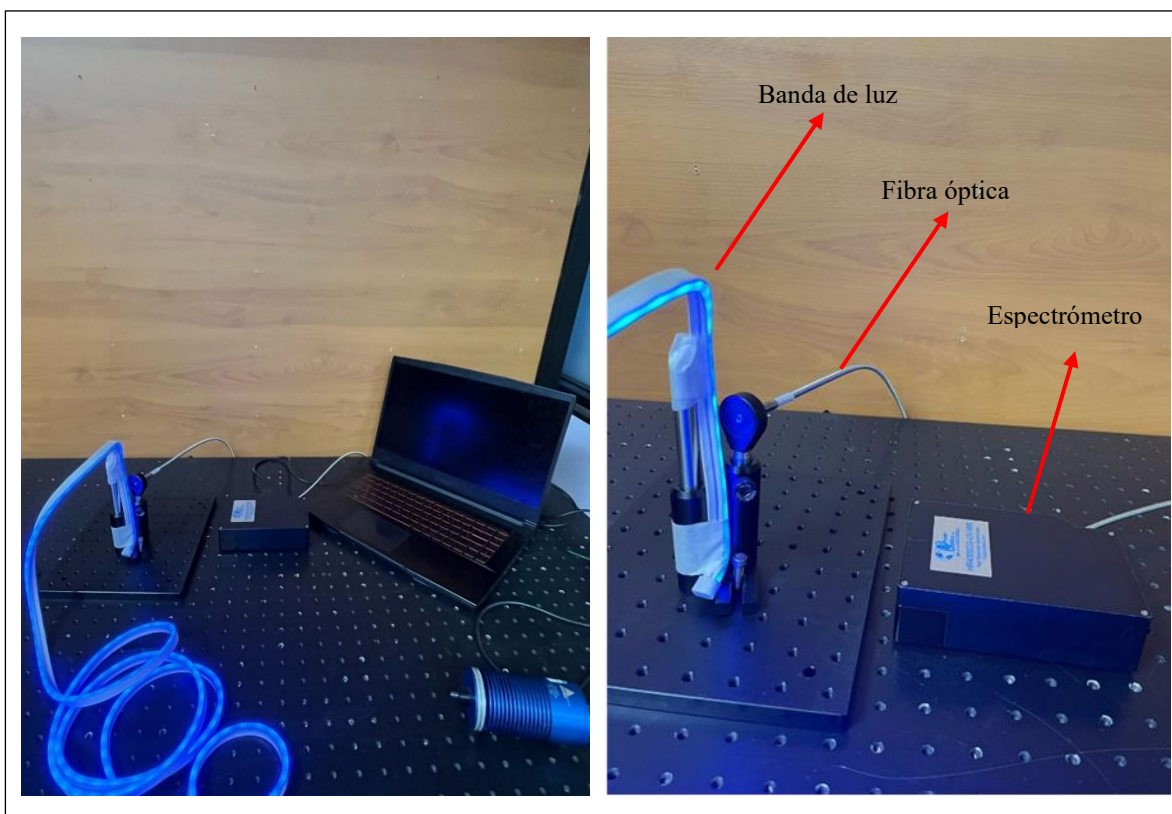
la tapa de esta misma, con el fin de corregir el ruido inherente del espectrómetro. Luego se conectó la fibra óptica en una fuente de luz halógena, con un patrón de luz conocido mediante un adaptador que contiene dicha luz, con la finalidad de calibrar el dispositivo para que este compense los defectos de sus elementos fotosensibles y pueda ser utilizado para medir una fuente de luz arbitraria y generar de ella mediciones radiométricamente calibradas en intensidad.

El motivo de calibrar el espectrómetro antes de medir la luz LED es debido a que su medición espectral está alterada ya que tiene fuentes de ruido internas. El espectrómetro mide su ruido de base y lo compensa cuando se calibra con respecto a una fuente con un patrón de luz conocido, en este caso una lámpara de luz halógena estabilizada. La calibración corrige las fallas del ruido interno y los desajustes de calibración con un espectro de luz conocido, lo que le permite posteriormente medir sin estas incertidumbres.

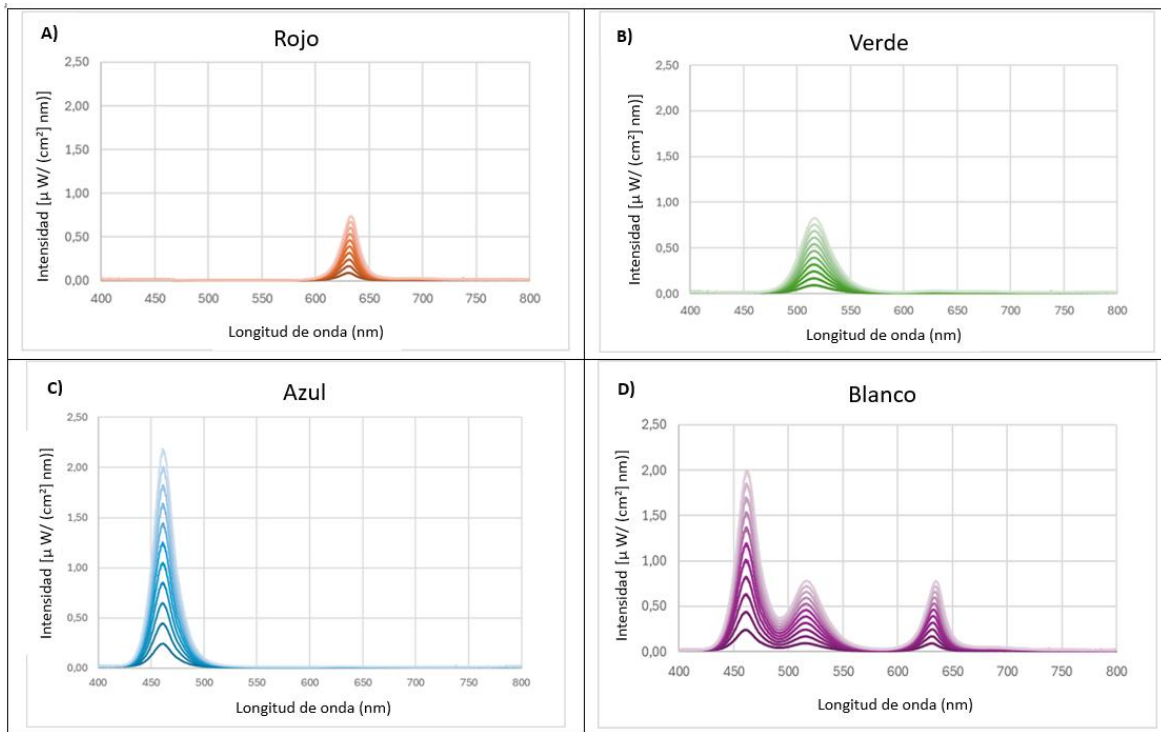


**Figura 5: Elementos para realizar la calibración:** Fotografía de los elementos con los cuales se calibró de espectrómetro, el cual era este mismo, la fibra óptica de 7 núcleo y una lampara de luz halógena.

Una vez calibrado el espectrómetro se realizó el cálculo de las intensidades de los espectros lumínicos de la banda led, donde se posiciono la fibra óptica a una distancia de 1 mm de la banda led (*figura 6*), los espectros medidos eran de color rojo, verde, azul y blanco, este último fue creado mediante la app digital LED light controller lamp, la cual nos permitió bajar la intensidad del blanco que traía incorporado el led ya que este no era puro y en paralelo añadirle el color amarillo para parcializar su composición espectral. Los datos que se obtuvieron de las mediciones fueron proporcionados por el software SpectralSuite, los cuales fueron extraídos y traspasados a Excel donde se graficaron sus intensidades lumínicas, en forma de poder de emisión espectral, en unidades [ $\mu$  W/ (cm<sup>2</sup> nm)] y las longitudes de onda medidas en [nm] (*figura 7*). Una vez obtenido cada grafico de la intensidad espectral por color, como se muestra en la *figura 7* se realiza una comparación de ellos, para delimitar que intensidad de cada color se les aplicará a los individuos durante el experimento.

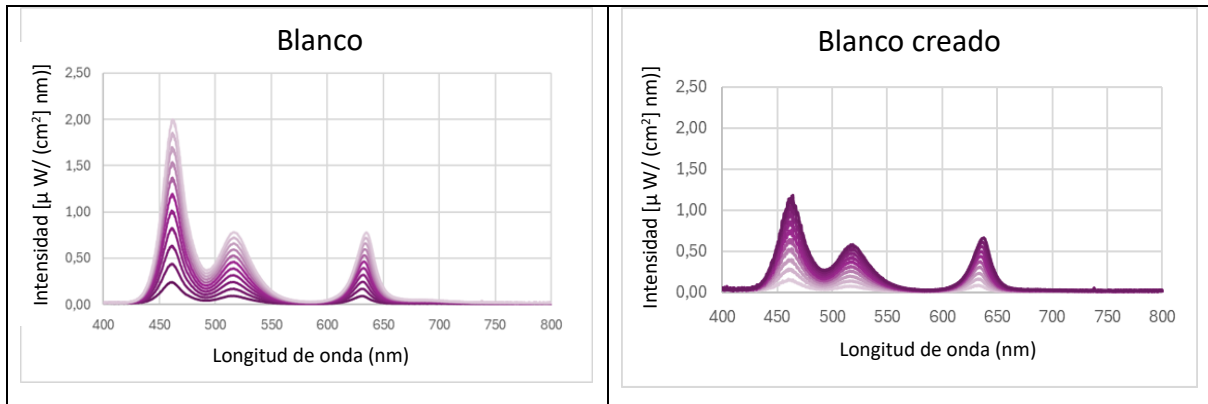


**Figura 6: Implementos para el cálculo de intensidades de la banda led:** Banda led fija a 1 mm de distancia de la fibra óptica la cual estaba conectada a un espectrómetro HR 4000 mientras este realizaba las mediciones.



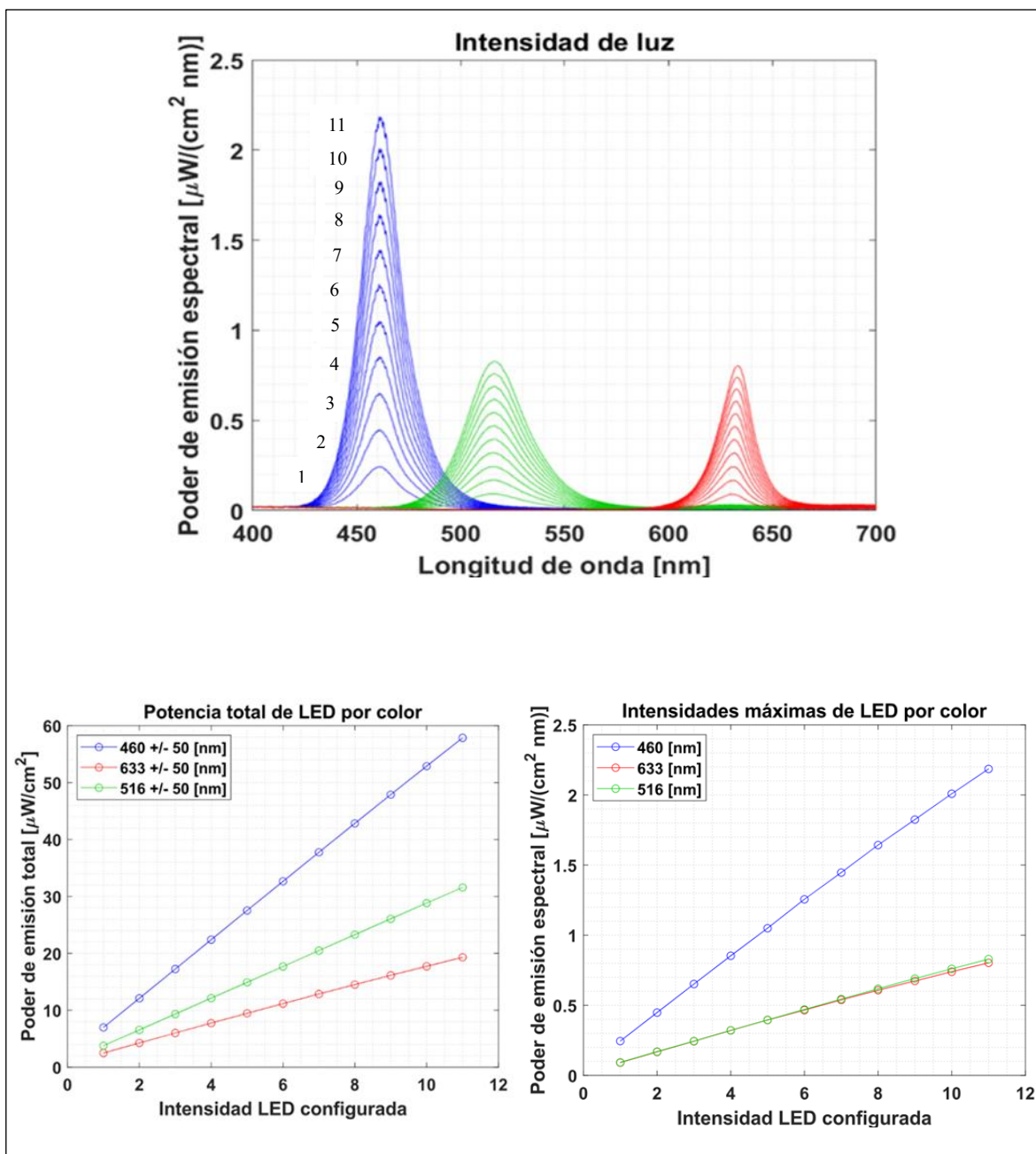
**Figura 7: Intensidad espectral de los espectros lumínicos rojo, verde, azul y blanco de la banda de luz led:** Los gráficos indican los picos de intensidad de los colores rojo, verde, azul y blanco de la banda de luces led, donde se puede apreciar que el pico espectral más alto es el del color azul (C), seguido del color blanco (D), verde (B) y el color rojo (A). Cada curva individual corresponde a una intensidad de la banda led que controla la emisión de cada color, la banda de luces presenta 11 niveles de intensidades crecientes por color.

El blanco que viene por defecto en la banda led no es parejo en su composición espectral, presentando un pico espectral elevado en las longitudes de onda de color azul (470 nm aproximadamente), y un nivel más bajo de color verde y rojo, por ello se creó un blanco que no tuviera un pico espectral tan alto en el espectro de luz azul y sus curvas de intensidad y composición espectral fueran más parejas (*figura 8*).



**Figura 8: Intensidad espectral del blanco creado:** Al disminuir la intensidad del color blanco de la banda led y añadirle el color amarillo, se logró reducir el pico espectral en la región cercana a los 470 nm (espectro de color azul), lo que parcializó la intensidad con los espectros verde y rojo que también componen el color blanco.

Para garantizar que los espectros lumínicos aplicados tuvieran una intensidad uniforme, se graficaron las curvas de intensidad de cada color para compararlas. Cada curva individual representa un nivel de intensidad de la banda LED, que controla el poder de emisión de cada color, se puede observar en la *figura 9* cómo cada color tiene diferentes picos espectrales y anchos lo que genera que su intensidad de luz varíe, generando diferencias en la potencia total emitida. Se observa que los espectros rojo y verde presentan intensidades similares, mientras que el azul es considerablemente distinto. Así, debido a sus menores intensidades de luz, los LED rojo y verde deben aplicarse a los individuos en su intensidad máxima (nivel 11 de la banda led), mientras que el azul debe aplicarse en la intensidad número cuatro de la banda led para poder estimular a los individuos con la misma potencia total.



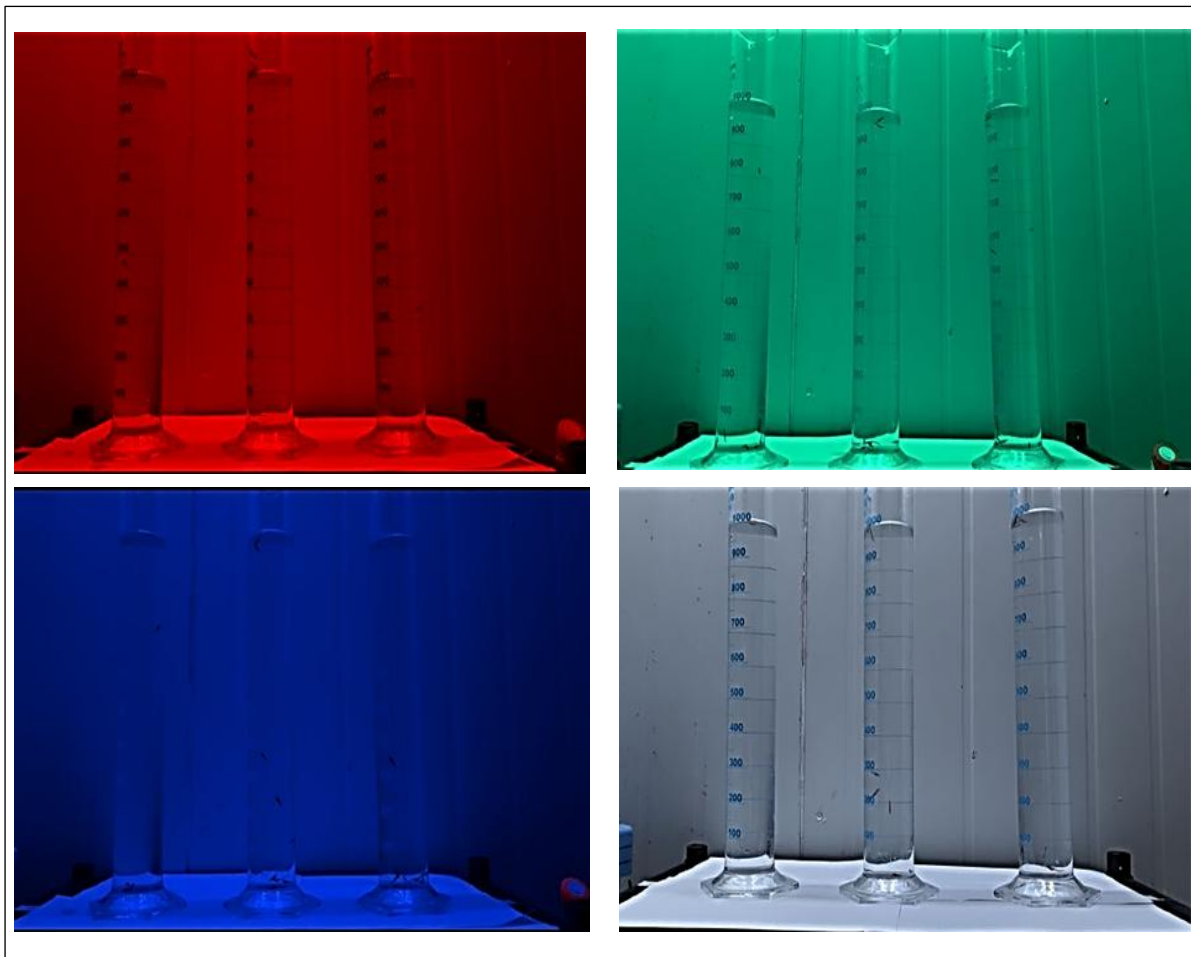
**Figura 9: Curvas de intensidad lumínica, intensidades máximas y potencial total de LED por color.**

Los gráficos representan distintas características de emisión de luz de la banda led. A) Comparativa entre las intensidades de la banda led y su poder de emisión espectral, B) Potencia total por color, donde cada punto representa una intensidad de la banda led a la cual se le integra el área debajo de la curva, debido a que cada curva presenta un diferente ancho y alto. C) Intensidad máxima de la luz led, donde se grafica el punto máximo de intensidad de las curvas de cada espectro lumínico en cada ajuste de la luz led.

## 2.5 Diseño experimental.

Los individuos de *Neomysis sp* fueron aclimatados en el cooler de traslado, los cuales se mantuvieron en oscuridad a  $11 \pm 0.5$  °C por 48 horas, siendo alimentados pasadas las 24 horas con 1 ml de PhytoGold, el cual fue dispensado en gotas en el agua mediante una pipeta de plástico. Pasadas las 48 horas de aclimatación y alimentación, se encendió una ampolleta de luz UV de color rojo, la que estaba apuntando en dirección a la pared para atenuar su intensidad, la utilización de esta luz es para facilitar la visión y extracción de los individuos y poder seleccionarlos por tamaño. Con la ayuda de una cuchara de vidrio de paleta ancha se seleccionaron 30 individuos que presentaran un tamaño mayor para facilitar su visualización, los cuales fueron depositados en set de 10 individuos en las 3 probetas de vidrio, las cuales se encontraban llenas hasta los 1000 ml con agua de mar la que se oxigenó dentro de las probetas por 2 horas con una bomba de aire eléctrica y mangueras, la cual fue retirada para la realización del experimento. Los 10 individuos seleccionados por probeta fueron introducidos en ellas con la misma cuchara de vidrio blanca que se utilizó para su extracción, los cuales se dejaron por 20 minutos en las probetas con la luz UV encendida para una nueva aclimatación. El tiempo de aclimatación y posterior exposición a la luz transcurrido se estimó debido a que en el misidáceo *Neomysis entire* la adaptación a la luz tarda unos 20 minutos (Halberg et al. 1980). Transcurrido este lapso se encendió la banda led en el color rojo en su intensidad máxima por 20 minutos, donde los individuos eran grabados para analizar su comportamiento, pasados los 20 minutos se expusieron al color verde, azul y blanco respectivamente (*figura 10*), por el mismo periodo de tiempo y también siendo grabados. Terminado el último color los individuos fueron devueltos al cooler.

El experimento se realizó 4 veces en las mismas condiciones, pero con individuos diferentes, teniendo un total de 4 réplicas temporales (correspondientes a las 4 veces que se repitió el experimento) y 12 réplicas en total (correspondientes a 3 probetas por experimento las cuales fueron usadas 4 veces).



***Figura 10: Imágenes de los individuos bajo los distintos espectros lumínicos:*** En las imágenes se puede observar a los individuos de *Neomysis* sp en el set up experimental bajo los 4 espectros lumínicos analizados.

## *2.6 Análisis de datos y estadísticos del comportamiento de los individuos bajo los diferentes espectros lumínicos.*

La respuesta de los individuos a los espectros lumínicos en las probetas fue filmada con un Iphone 13, el que contiene una cámara con resolución 1080p a 30 cps, los registros de video que tienen una duración de 20 minutos por color fueron traspasados a un computador, donde se dividieron en periodos de tiempo de 0 a 3 minutos, 9 a 12 minutos y de 17 a 20 minutos,

para su posterior visualización y análisis en los 4 colores a los que se expusieron, con la finalidad de identificar si existen variaciones tanto en la posición en la probeta la cual fue dividida verticalmente en 3 partes: inferior desde los 100 a 350 ml, parte media 350 a 650 ml y parte alta 650 a +950 ml, su velocidad de nado y nivel de actividad.

El movimiento de los individuos ya sea para el cálculo de posición, velocidad de natación o actividad llevó a cabo de manera individual, donde en el minuto 0 se registraron las posiciones iniciales de cada individuo para posteriormente identificarlos uno por uno y seguir su recorrido de ascenso y descenso por la probeta, mediante la graduación de esta, por los lapsos de tiempos mencionados. La probeta posee una graduación de 1000 ml los cuales van de 100 ml, donde cada uno de ellos mide 3,4 centímetros, la incertidumbre que hay en los registros de video de los cambios de posición de los individuos, el cual contempla nivel de actividad y velocidad de nado es despreciable, y tiene una medida 0,11 cm/píxel, ya que la resolución de los videos es alta.

Para evaluar la posición de los individuos en la probeta, se definieron los 3 posibles comportamientos que podrían tener frente a un estímulo lumínico, si los individuos se concentraban en la parte inferior de la probeta significaría que habían logrado percibir el estímulo lo cual les indicaba que tenían que posicionarse en la profundidad de la columna de agua, los individuos que se posicionaran en la parte al media de la probeta se definirían como que no respondieron al estímulo lumínico y los individuos que se concentraran en la parte superior en la probeta nos daría un indicio de preferencia al color. También se estimó la velocidad de nado de los individuos que cambiaron de posición en los tres tiempos señalados anteriormente, donde no se consideró a los individuos que no cambiaron su posición en todo el análisis. Para obtener la velocidad de nado de los individuos ocupamos la fórmula:  $\text{velocidad} = \text{distancia} / \text{tiempo}$  donde la distancia equivale a los centímetros (cm) que recorrió el individuo nadando desde una posición inicial hacia el final dividido por el tiempo que empleó en recorrer esta distancia. Estas velocidades las utilizaremos para analizar si hay un comportamiento que responda a un patrón migratorio característico de los individuos frente a cada color al que se verán expuestos, y, por último, se calculó el porcentaje de individuos activos, el cual consistía en contabilizar a los individuos que se movieron de una posición

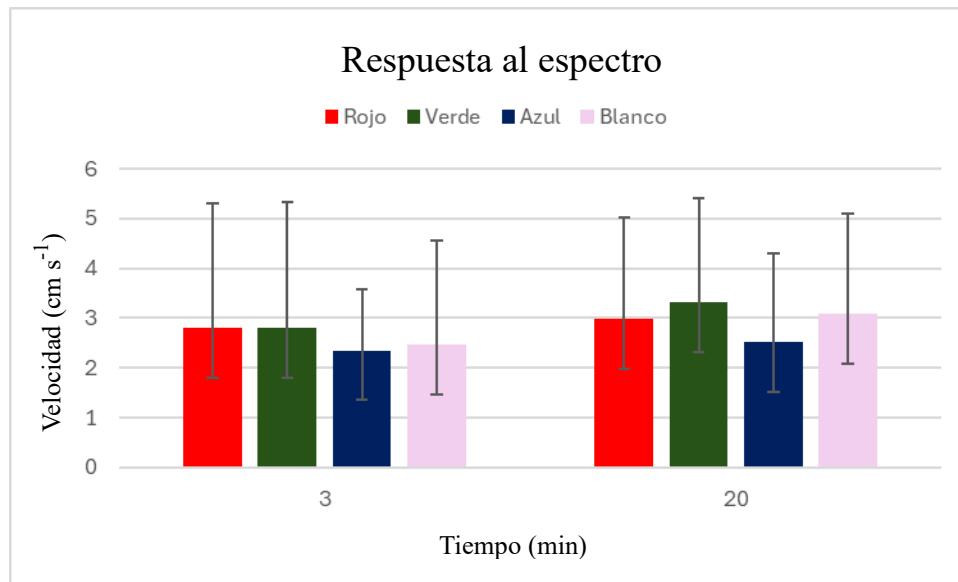
inicial a una final en los 3 tiempos 0 a 3 de 9 a 12 y de 17 a 20 por cada color, para compararlos y evaluar su nivel de actividad.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías ranqueado, debido a que no cumplían con los supuestos paramétricos de homogeneidad de varianza y distribución normal. Debido a esto, se procedió a ranquear los datos antes de aplicar el ANOVA de dos vías, método estadístico elegido por la presencia de dos factores independientes los cuales son la luz y el tiempo. Este análisis estadístico permitirá determinar si los cambios comportamentales observados en los individuos pueden atribuirse al color de la luz o si las diferencias detectadas son producto de variaciones aleatorias.

## ***RESULTADOS***

### *3.1 Velocidad de natación.*

El análisis de las velocidades de nado de los misidáceos bajo los cuatro diferentes espectros lumínicos a los cuales fueron expuestos no arrojó diferencias significativas entre los colores evaluados ni entre los tiempos de exposición (3 y 20 minutos). En la *Figura 11*, se observa que la velocidad promedio de nado es similar en todas las condiciones espectrales, con una dispersión de datos más amplia en las luces roja y verde, lo que indica una mayor variabilidad individual en la respuesta. El análisis estadístico mediante ANOVA de dos vías confirmó la ausencia de diferencias significativas en la velocidad de nado entre los distintos tratamientos lumínicos ( $P= 0,304$ ) y entre los tiempos de exposición ( $P= 0,249$ ), con una velocidad promedio de  $2,90 \pm 1,95 \text{ cm s}^{-1}$ . Además, la interacción entre el tiempo y color tampoco fue significativa, lo que sugiere que el efecto del tiempo no depende del color del espectro de luz aplicado y viceversa. La alta variabilidad de los datos resalta la importancia de considerar otros factores que podrían influir en la respuesta de los organismos. Para obtener conclusiones más precisas, sería recomendable aumentar el tamaño de la muestra o realizar pruebas con controles experimentales más estrictos.

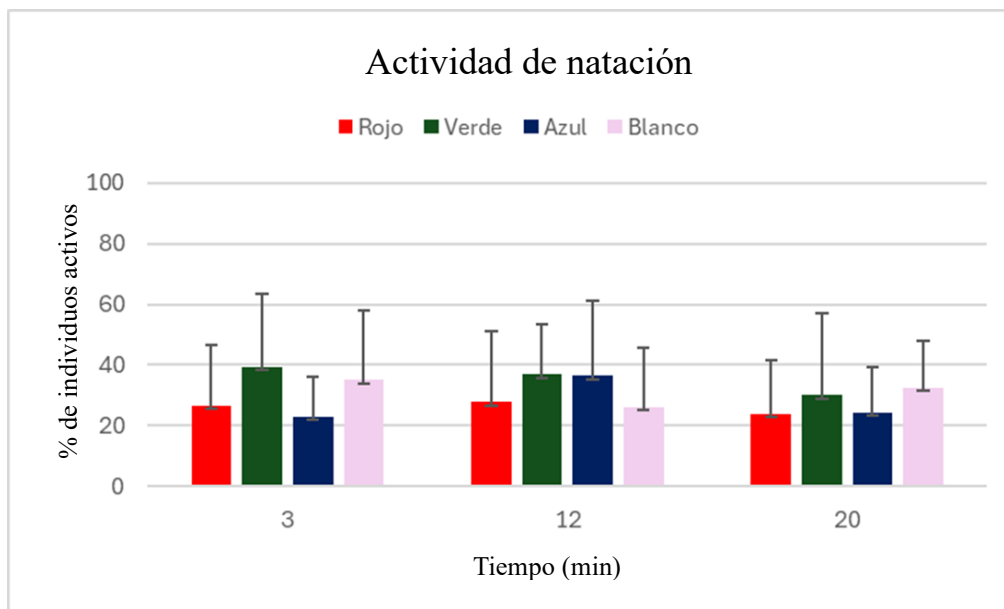


**Figura 11: Velocidades promedio de nado:** Velocidad de nado en los distintos colores de iluminación, en los tiempos 0 a 3 minutos y 17 a 20 minutos.

### 3.2 Actividad de natación.

El análisis del porcentaje de individuos activos bajo los distintos espectros lumínicos no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los colores evaluados ni entre los tiempos de exposición, como se observa en la *Figura 12*. El análisis estadístico mediante ANOVA de dos vías no reveló efectos significativos ni en los tratamientos lumínicos ( $P=0,139$ ) ni en la variación a lo largo del tiempo, tanto en el inicio como en el final del periodo de exposición ( $P=0,639$ ), con un porcentaje de actividad promedio de  $31,38 \pm 20,367$ . Asimismo, la interacción entre el tiempo y el color no fue significativa, lo que indica que la respuesta de los individuos no depende del espectro lumínico al cual se ven expuestos. Si bien en el espectro de color verde se observa una tendencia a generar mayor actividad en los primeros minutos (3 y 12 min), en comparación con los espectros de color rojo, azul y blanco, no se puede establecer como un patrón de respuesta claro significativo debido a la alta variabilidad de los datos. Las barras de error reflejan una dispersión considerable, sugiriendo una variabilidad individual en la reacción de los organismos a los estímulos lumínicos. En general, la exposición prolongada a los diferentes espectros lumínicos evaluados no parece

influir de manera significativa en la actividad de los individuos, lo que resalta la necesidad de considerar otros factores que podrían estar incidiendo en su comportamiento.

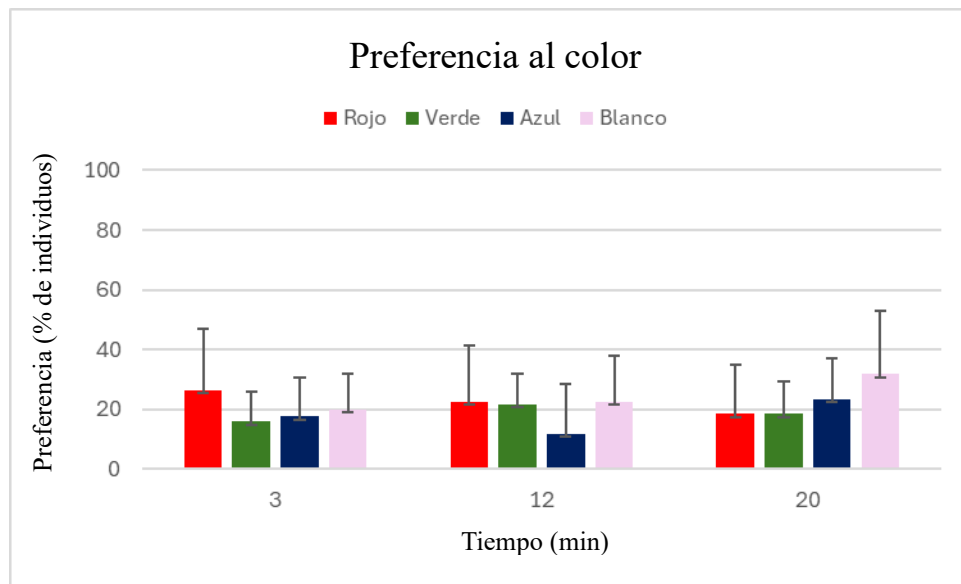


**Figura 12: Gráficos del porcentaje de individuos activos:** Individuos que nadaron en los diferentes colores, en los 3 tiempos analizados.

### 3.3 Preferencia al color.

Se analizó la preferencia de los individuos por los distintos espectros lumínicos, donde la cantidad de individuos que permanecía cercano a la superficie se consideró como atraído. No se mostraron diferencias estadísticamente significativas de preferencia entre los distintos tratamientos lumínicos ni a lo largo del tiempo de exposición. La *Figura 13* presenta la tendencia de preferencia promedio, obtenida a partir de la agrupación y el cálculo del promedio general de las respuestas en tres tiempos por color, con su respectiva desviación estándar. Los resultados indican que, si bien la preferencia por la luz azul y la luz blanca tiende a aumentar en el minuto 20 en comparación con los minutos 3 y 12, estas diferencias no fueron significativas para los diferentes espectros lumínicos ( $P=0,168$ ) como para el

tiempo de exposición ( $P=0,408$ ). La preferencia promedio por los distintos colores fue de  $20,97 \pm 15,65$ , y no se encontró una interacción significativa entre los factores tiempo y color, aunque el valor de  $P$  para esta interacción estuvo cerca del umbral de significancia ( $0,05$ ). En general, la distribución de la preferencia fue relativamente homogénea, sin patrones claros que indican una inclinación marcada hacia algún espectro lumínico específico. Las barras de error reflejan una alta variabilidad en los datos, lo que sugiere diferencias individuales en la respuesta de los organismos y limita la posibilidad de establecer conclusiones definitivas sobre la preferencia lumínica.



**Figura 13: Gráfico de la preferencia al color:** Individuos que se ubicaron cercanos a la superficie de la probeta en los diferentes colores.

## ***Discusión***

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la luz no tiene un impacto significativo en los patrones migratorios ni en la actividad de los misidáceos en las condiciones experimentales planteadas. A pesar de evaluar diferentes espectros lumínicos, los misidáceos no mostraron respuestas claras en cuanto a velocidad de natación, actividad o preferencia por los determinados colores de luz. Varios factores podrían haber influido en estos resultados, sugiriendo que las condiciones experimentales no replicaron de manera adecuada las condiciones del entorno lumínico donde habitan los misidáceos.

En primer lugar, se debe considerar que la distancia de desplazamiento que tenían los misidáceos en las probetas, era demasiado acotada como para poder observar un patrón migratorio o una respuesta significativa a los distintos espectros de luz. La falta de un gradiente de luz replicable a las condiciones ambientales podría haber limitado las respuestas observadas debido a que no se reproduce completamente la dinámica lumínica del entorno natural de *Neomysis*. En la naturaleza, la penetración del espectro lumínico varía con la profundidad y está sujeta a cambios temporales y estacionales, donde diferentes especies del zooplancton podrían asociar una respuesta migratoria al cambio de la luminosidad (Frank & Widder 1997). Por lo tanto, el uso de una probeta de vidrio que mide 46 centímetros de largo no fue suficiente para crear un gradiente de luz adecuado, lo que limita la comparación de las respuestas de los individuos con el ambiente natural. No obstante, este no podría ser el único factor influyente, ya que estos comportamientos migratorios no siempre son constantes y la mayoría de las especies solo reaccionan a estos estímulos durante el periodo reproductivo (Champalbert & Macquart-Moulin 1970; Mauchline 1980; Sardou & Andersen 1993).

Estudios previos han demostrado que la sensibilidad espectral de los misidáceos está adaptada para captar longitudes de onda en el rango correspondiente a los espectros verde y azul (Ringelberg 1991; Lindstrom 2000). Sin embargo, la falta de diferencias significativas en la velocidad de natación podría explicarse por la compleja interacción entre la percepción lumínica y otros factores ambientales que afectan su comportamiento, tales como cambios en la temperatura del agua, los cuales han demostrado influir en la orientación (geotaxia) y en las migraciones de los misidáceos (Bourdillan & Castelbon 1983). En ambientes naturales, las respuestas del zooplancton a la luz pueden estar moduladas por gradientes de intensidad

lumínica, la presencia de depredadores y la disponibilidad de alimento (Berge & Cottier 2009; Cohen et al. 2009) lo que puede influir en su comportamiento de manera más significativa que la luz misma.

Uno de los factores influyentes por el cual no se logró observar un patrón de comportamiento grupal representativo en los individuos, puede atribuirse en gran medida al número reducido de organismos analizados ( $n=10$ ) en cada probeta. Se ha demostrado que los misidáceos presentan un alto grado de integración conductual, expresado en respuestas colectivas complejas frente a estímulos ambientales o amenazas, las cuales solo emergen plenamente en agrupaciones numerosas. Las estructuras de enjambres en estas especies son mantenidas por mecanismos biológicos internos más que por factores físicos como la luz o las corrientes, y su morfología y comportamiento social varía según el tamaño de la agregación y el nivel de cohesión entre los individuos (O'Brien 1988). En este sentido, un grupo tan pequeño probablemente no alcanzó el umbral mínimo necesario para la expresión de dinámicas colectivas, como la coordinación en grupo, las respuestas de escape sincronizadas o la formación de enjambres liderados, estrategias claves que utilizan para su supervivencia y reproducción (Ortiz y Lalana 2010). Además, se propone que el hábitat y la atracción al sustrato también influyen en la manifestación de patrones agregativos (Barberá 2002), condiciones que no se replicaron adecuadamente en la probeta. Por lo tanto, la escasa representación de comportamientos sociales observada puede explicarse por la insuficiente densidad de individuos, lo que limitó la activación de los mecanismos conductuales que normalmente sustentan las agregaciones naturales de los misidáceos.

El tiempo de aclimatación a la luz también podría haber afectado los resultados obtenidos. En estudios previos se ha documentado que la adaptación a la luz en el género *Neomysis* tarda aproximadamente 20 minutos (Hallberg et al. 1980). Aunque se expuso a los misidáceos al color rojo durante 20 minutos, no se puede asegurar que este periodo fuera suficiente para generar una adaptación completa del ojo de los individuos, ya que, su sensibilidad espectral máxima está sintonizada para captar las longitudes de onda pertenecientes a los espectros lumínicos azul y verde (Lindstrom 2000), posiblemente el rojo este fuera del rango de percepción visible para estos organismos. Además, el tiempo de aclimatación a las condiciones de laboratorio, donde los misidáceos estuvieron en oscuridad durante 48 horas a

10° C, podría haber afectado sus ritmos metabólicos, aunque no existe un registro de cuánto tiempo pueden reproducir estos individuos sus respuestas metabólicas y comportamentales fuera de las condiciones naturales, no se puede aseverar una pérdida de biorritmos, pero si tenerlo en consideración para futuras investigaciones.

Finalmente, la baja velocidad de natación promedio observada en los misidáceos en comparación con otros organismos como el Krill (5-10 cm/s<sup>-1</sup>) (Demer & Conti 2005), plantea dudas sobre si los parámetros ambientales fueron adecuados para evaluar este comportamiento. Los misidáceos nadaron a una velocidad promedio de 2.90 cm/s<sup>-1</sup>, lo que está por debajo de lo reportado para otras especies de zooplancton. Esto sugiere que la falta de respuesta puede deberse a una combinación de factores experimentales que ni lograron inducir una respuesta migratoria o actividad significativa.

## *Conclusión*

Aunque en la mayoría de la literatura sobre los estudios de las migraciones verticales realizadas por el zooplancton, se concluya que la luz es uno de los parámetros ambientales más relacionados con las señales que inician el movimiento, parece improbable que la luz no juegue un rol fundamental en la migración de los individuos poco estudiados que forman parte del zooplancton, como lo son los misidáceos. A pesar del aporte bibliográfico previo sobre como estos individuos perciben la luz, en el presente estudio no se logró generar una asociación entre los diferentes espectros lumínicos y las respuestas conductuales y desplazamientos de los individuos. Los resultados indican que los misidáceos no responden de manera significativa a los cambios en los espectros lumínicos en las condiciones experimentales planteadas, lo que podría explicarse por las limitaciones en el diseño experimental, como la falta de gradiente de luz adecuado, la ausencia de corrientes acuáticas y la posible alteración de los ritmos biológicos de los organismos.

Este estudio contribuye al conocimiento sobre la ecología del zooplancton en ecosistemas costeros y abre nuevas interrogantes sobre los mecanismos que regulan su distribución vertical. Se sugiere que futuras investigaciones incorporen condiciones más cercanas al entorno natural, con gradientes lumínicos progresivos, la presencia de corrientes y la interacción con otros factores ecológicos, como la disponibilidad de alimento, para comprender mejor como la luz influye en los patrones migratorios de los misidáceos y determinar de manera integral las variables asociadas. Asimismo, la aplicación de tecnologías avanzadas, como sistema de seguimiento automatizado para analizar a los individuos, podría proporcionar una visión más precisa sobre el impacto de la luz en la movilidad de los organismos.

En un contexto de cambios ambientales globales, donde las modificaciones en la iluminación natural podrían alterar la estructura y dinámica del zooplancton, estudios como el presente resultan fundamentales para evaluar como estos organismos responden a escenarios de alteración lumínica. La información obtenida no solo fortalece la base científica sobre los patrones migratorios del zooplancton, sino que también podría contribuir a futuras investigaciones sobre migraciones verticales realizadas por los misidáceos en Chile. Estos hallazgos contribuyen a la comprensión ecológica del zooplancton y sus estrategias de

supervivencia, proporcionando una base para futuras investigaciones sobre el impacto de los cambios en la iluminación natural de los ecosistemas costeros.

## *Bibliografia*

- Aksnes, D. L., Røstad, A., Kaartvedt, S., Martinez, U., Duarte, C. M., & Irigoien, X. (2017). Light penetration structures the deep acoustic scattering layers in the global ocean. *Science Advances*, 3(5), e1602468. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602468>
- Allada, R., & Chung, B. (2010). Circadian organization of behavior and physiology in *Drosophila*. *Annual Review of Physiology*, 72, 605–624. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-021909-13581>.
- Allen, D. M. (1982). Autoecology of the cryptic mysid crustacean, *Heteromysis formosa* S. I. Smith, 1873, in a temperate estuary. *Hydrobiologia*, 93(1), 1–7.
- Barberá-Cebrián, C., Sánchez-Jerez, P., & Ramos-Esplá, A. A. (2002). Fragmented seagrass habitats on the Mediterranean coast, and distribution and abundance of mysid assemblages. *Marine Biology*, 141(3), 405–413. <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0849-6>.
- Berge, J., Cottier, F., Last, K. S., Varpe, Ø., Leu, E., Søreide, J., Eiane, K., Falk-Petersen, S., Willis, K., Nygård, H., Vogedes, D., Griffiths, C., Johnsen, G., Lorentzen, D., & Brierley, A. S. (2009). Diel vertical migration of Arctic zooplankton during the polar night. *Biology Letters*, 5(1), 69–72. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2008.0484>
- Bollens, S. M., Frost, B. W., & Lin, T. S. (1989). Zooplanktivorous fish and variable diel vertical migration in the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnology and Oceanography*, 34(6), 1072–1083.
- Bourdillon, A., & Castelbon, C. (1983). Influence des variations de température sur la géotaxie de deux espèces de mysidacés. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 71(2), 105–117.
- Bozzano, R., Fanelli, E., Pensieri, S., Picco, P., & Schiano, M. E. (2014). Temporal variations of zooplankton biomass in the Ligurian Sea inferred from long time series of ADCP data. *Ocean Science*, 10(1), 93–105. <https://doi.org/10.5194/os-10-93-2014>.
- Brown, A. C., & McLachlan, A. (1990). *Ecology of sandy shores*. Elsevier.
- Champalbert, G., & Macquart-Moulin, C. (1970). Les pécararides de l'hyponeuston nocturne du golfe de Marseille. *Cahiers de Biologie Marine*, 11, 1–29.

- Chigbu, P., & Sibley, T. H. (1994). Relationship between abundance, growth, egg size, and fecundity in a landlocked population of longfin smelt, *Spirinchus thaleichthys*. *Journal of Fish Biology*, 45(1), 1–15.
- Cohen, J. H., & Forward, R. B., Jr. (2009). Diel vertical migration of zooplankton: A review of proximate control. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 47, 77–110.
- Cohen, J. H., & Forward Jr, R. B. (2016). Migración vertical diaria del zooplancton: una revisión de control próximo. *Oceanography and Marine Biology*, 89–122.
- Cornejo Donoso, J. F., & Antezana Jerez, T. (1999). Distribución de misidáceos en bahía Coliumo. Universidad de Concepción.
- Dagg, M. J., Frost, B. W., & Newton, J. A. (1997). Vertical migration and feeding behavior of *Calanus pacificus* females during a phytoplankton bloom in Dabob Bay, USA. *Limnology and Oceanography*, 42(5), 974–980.
- David, A. D., & Conti, S. G. (2005). Un nuevo modelo de intensidad de objetivo indica que hay más krill en el océano Austral. *ICES Journal of Marine Science*, 62(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.07.027>
- Demer, D. A., & Conti, S. G. (2005). A new target strength model indicates more krill in the Southern Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, 62(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.07.027>
- Dunlap, J. C. (1999). Molecular bases for circadian clocks. *Cell*, 96(2), 271–290. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)80566-8](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)80566-8)
- Ferrarello, C. N. (1988). Descripción morfológica de los estadios de desarrollo de *Arthromysis magellanica* y algunos aspectos relacionados con su biología. Tesis de Licenciatura en Biología Marina, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 44 pp.
- Forward, R. B., Jr. (1988). Diel vertical migration: Photobiology and behavior of plankton. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 26, 361–393.
- Fragopoulou, N., & Lykakis, J. J. (1990). Vertical distribution and nocturnal migration of zooplankton in relation to the development of the seasonal thermocline in Patraikos Gulf. *Marine Biology*, 104(3), 381–387. <https://doi.org/10.1007/BF01314340>.

- Frank, T., & Widder, E. (1997). The correlation of downwelling irradiance and staggered vertical migration patterns of zooplankton in Wilkinson Basin, Gulf of Maine. *Journal of Plankton Research*, 19(12), 1975–1991. <https://doi.org/10.1093/plankt/19.12.1975>.
- Gaten, E., Tarling, G. A., Dowse, H., Kyriacou, C., & Rosato, E. (2008). Is vertical migration in Antarctic krill (*Euphausia superba*) influenced by an underlying circadian rhythm? *Journal of Genetics*, 87, 473–483.
- Guerrero, M. A. T., Izquierdo, M. N. C. de, & Canelo, S. E. P. de. (1976). Observaciones mensuales sobre algunos aspectos biológicos de la Ría de Bahía Blanca, entre Ingeniero White y Puerto Cuatros. *Contribución Científica IADO*, 36, 1–39.
- Hallberg, E., Nilsson, H. L., & Elofsson, R. (1980). Clasificación de los ojos compuestos de los anfípodos: la estructura fina de las unidades omatidiales (Crustacea, Amphipoda). *Zoomorphologie*, 94, 279–306.
- Haney, J. F. (1988). Diel patterns of zooplankton behavior. *Bulletin of Marine Science*, 43(3), 583–603.
- Hays, G. C. (2003). A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migrations. *Hydrobiologia*, 503(1–3), 163–170.
- Hays, G. C., Warner, A. J., & Tranter, P. R. G. (1997). Why do the two most abundant copepods in the North Atlantic differ so markedly in their diel vertical migration behaviour? *Journal of Sea Research*, 38(1–2), 85–92. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(97\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(97)00030-0)
- Hoffmeyer, M. S. (1990). The occurrence of *Neomysis americana* in two new localities of the South American coast. *Crustaceana*, 58(2), 186–192.
- Hofmann, E. E., & Murphy, E. J. (2004). Advection, krill, and Antarctic marine ecosystems. *Antarctic Science*, 16(4), 487–499.
- Jerling, H. L., & Wooldridge, T. H. (1995). Feeding of two mysid species on plankton in a temperate South African estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 188(2), 243–259.
- Jerlov, N. G. (1976). *Marine optics*. Elsevier Scientific Publishing Company. <https://doi.org/10.1017/S0025315400028277>.
- Kaartvedt, S. (1985). Diel changes in small-scale vertical distribution of hyperbenthic mysids. *Sarsia*, 70(4), 287–295.

- Kaester, A. (1970). Invertebrate Zoology. Crustacea (Vol. 3, 522 pp.). Interscience Publishers.
- Lalli, C. M., & Parsons, T. R. (1997). Biological oceanography: An introduction (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Leiva, F. P., Niklitschek, E. J., Paschke, K., Gebauer, P., & Urbina, M. A. (2016). Tide-related biological rhythm in the oxygen consumption rate of ghost shrimp (*Neotrypaea uncinata*). The Journal of Experimental Biology, 219(13), 1957–1960. <https://doi.org/10.1242/jeb.133785>
- Lindström, M. (2000). Eye function of Mysidacea (Crustacea) in the northern Baltic Sea. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 246(1), 85–101. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(99\)00178-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00178-1)
- Lythgoe, J. N. (1972). The adaptation of visual pigments to the photic environment. In H. J. A. Dartnall (Ed.), Photochemistry of vision (Vol. 7/1, pp. 567–600). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-65066-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-642-65066-6_14)
- Mauchline, J. (1980). The biology of mysids and euphausiids. Advances in Marine Biology, 18, 1–681.
- Mauchline, J., & Murano, M. (1977). World list of the Mysidacea (Crustacea). Journal of Tokyo University of Fisheries, 64, 39–88.
- Meland, K., & Willassen, E. (2007). The disunity of "Mysidacea" (Crustacea). Molecular Phylogenetics and Evolution, 44, 1083–1104.
- Murano, M. (1999). Mysidacea. In D. Boltovskoy (Ed.), South Atlantic Zooplankton (Vols. 1 & 2, pp. 1706). Backhuys Publishers.
- Murtaugh, P. A. (1985). Vertical distribution of zooplankton and population dynamics of *Daphnia* in a meromictic lake. Hydrobiologia, 123(1), 47–57.
- O'Brien, D. P. (1988). *Gregarious behaviour in crustacean micronekton (Euphausiacea, Mysidacea)* (Doctoral thesis, University of Tasmania). <https://doi.org/10.25959/23243477.v1>
- Ohman, M. D. (1990). The demographic benefits of diel vertical migration by zooplankton. Ecological Monographs, 60(3), 257–281.
- Ortiz, M., & Lalana, R. (2010). Claves taxonómicas para identificar a crustáceos cubanos (Arthropoda, Crustacea). Cocuyo, 18, 5–28.

- Pillar, S. C., Armstrong, D. A., & Hutchings, L. (1989). Vertical migration, dispersal and transport of *Euphausia lucens* in the southern Benguela Current. *Marine Ecology Progress Series*, 53, 179–190.
- Pilorz, V., Helfrich-Förster, C., & Oster, H. (2018). The role of the circadian clock system in physiology. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 470(2), 227–239. <https://doi.org/10.1007/s00424-017-2103-y>.
- Price, W. W., & Heard, R. W. (2009). Mysida (Crustacea) of the Gulf of Mexico. In D. Felder & D. Camp (Eds.), *Gulf of Mexico, Origin, Waters, and Biota* (Vol. 1, pp. 929–941). T & M University Press.
- Ramcharan, C. W., & Sprules, W. G. (1986). Visual predation in *Mysis relicta* Lovén. *Limnology and Oceanography*, 31(2), 414–420.
- Ringelberg, J., Flik, B. J. G., Lindenaar, D., & Royackers, K. (1991). Diel vertical migration of *Daphnia hyalina* (sensu latiori) in Lake Maarsseveen: Part 1. Aspects of seasonal and daily timing. *Archiv für Hydrobiologie*, 121, 129–145. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/121/1991/129>.
- Roenneberg, T., & Foster, R. G. (1997). Twilight times: Light and the circadian system. *Photochemistry and Photobiology*, 66(5), 549–561. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1997.tb03188.x>
- Roenneberg, T., & Merrow, M. (1999). Circadian systems and metabolism. *Journal of Biological Rhythms*, 14(6), 449–459. <https://doi.org/10.1177/074873099129001019>
- Rudstam, L. G., Hansson, S., & Larsson, U. (1986). Abundance, species composition and production of mysid shrimps in a coastal area of the northern Baltic proper. *Ophelia Supplement*.
- Sardou, J., & Andersen, V. (1993). Micronekton et macroplancton en Mer Ligure (Méditerranée): migrations nyctémérales et distributions verticales. *Oceanologica Acta*, 16, 381–392.
- Segerstråle, S. G. (1947). Über die Verbreitung der Mysiden in den Finnland umgebenden Meeresgewässern. Academic Bookstore.
- Stich, H. B., & Lampert, W. (1981). Predator evasion as an explanation of diurnal vertical migration by zooplankton. *Nature*, 293(5831), 396–398.

- Sweatt, A. J., & Forward, R. B. (1985). Diel vertical migration and photoresponses of the chaetognath *Sagitta hispida* Conant. *Biological Bulletin*, 168(1), 18–31. <https://doi.org/10.2307/1541170>
- Tattersall, O. (1951). A review of the Mysidacea of the United States National Museum. *Smithsonian Institution United States National Museum Bulletin*, 201, 1–292.
- Tissot, J. L., Vilain, M. J., & Fieque, B. (2015). Infrared detectors for astronomy and Earth observation. *Physics and Infrared Technology*, 70, 20–28.
- Tyler, J. E. (1959). Natural water as a monochromator. *Limnology and Oceanography*, 4(1), 102–105.
- Uitto, A., Kaitala, S., Kuosa, H., & Pajuniemi, R. (1995). Effect of nutrient addition and predation of mysid shrimp (*Neomysis integer*) on a Baltic plankton community in a short-term enclosure experiment. *Aqua Fennica*, 25, 23–31.
- Van Gool, E., & Ringelberg, J. (1997). The effect of accelerations in light increases on the downward phototactic swimming of *Daphnia* and its relevance for diel vertical migration. *Journal of Plankton Research*, 19(12), 2041–2050.
- Van Haren, H., & Compton, T. J. (2013). La migración vertical diaria en el plancton de aguas profundas está finalmente ajustada a la longitud latitudinal y estacional del día. *PLoS ONE*, 8(5), e64435. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064435>
- Vinogradov, G. I., Naumenko, V. D., & Naumova, I. V. (1985). Effect of nonionizing microwave radiation on autoimmune reactions and antigenic structure of serum proteins. *Biulleten' Eksperimental'noi Biologii i Meditsiny*, 100(5), 573–575.
- Walmsley, L., Hanna, L., Mouland, J., Martial, F., West, A., Smedley, A. R., et al. (2015). Color as a signal for mammalian circadian clock synchronization. *PLoS Biology*, 13(4), e1002127. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002127>.
- Winfield, I., & Ortiz, M. (2011). Crustáceos con bolsa incubadora (Crustacea, Malacostraca, Peracarida). In F. G. Lorea-Hernández, V. Hernández-Ortiz, & J. M. Morales-Mavil (Eds.), *La biodiversidad de Veracruz* (Vol. II, pp. 277–287). CONABIO/Gobierno del Estado de Veracruz, México, D. F.

